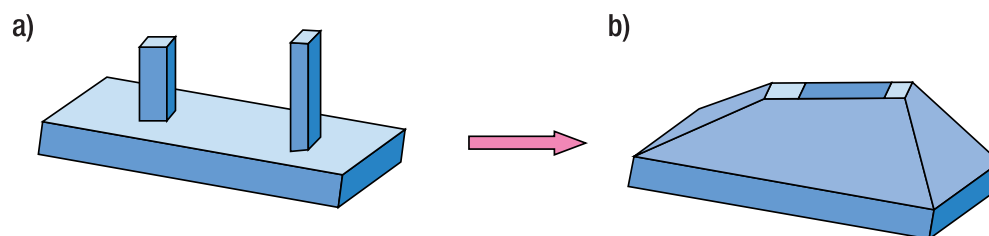


Cicli di lavorazione automatici: i principali metodi AFR

I sistemi CAPP generativi e le tecniche AFR per riconoscere le feature di un pezzo e pianificare il ciclo di lavorazione sono stati introdotti nel numero di Giugno 2009. Sul numero di settembre 2009 sono state presentate quattro tipologie di tecniche AFR con esempi di applicazione. In questa seconda e ultima parte della rassegna vengono presentate le due tecniche AFR che sfruttano il metodo della decomposizione volumetrica

(2^a parte)



Decomposizione volumetrica tramite il metodo del guscio convesso

I metodi della decomposizione volumetrica tramite guscio convesso ("convex hull"), e della decomposizione basata su celle ("cell based", par. 2), si basano sulla scomposizione del modello di un componente meccanico in una serie di elementi volumici intermedi, che successivamente vengono ripresi e manipolati al fine di ottenere *feature di lavorazione* specifiche.

La "Decomposizione volumetrica tramite il metodo del guscio convesso" è un approccio che prevede una circoscrizione della parte (fig. 1) al fine di determinare un guscio convesso poliedrico, con il quale viene valutata la differenza in volume mediante comparazione con la parte stessa come somma alternativa di volumi (Alternative Sum of Volumes – ASV).

Un notevole contributo allo sviluppo di questo sistema fu dato da Kim [1], che sviluppò un algoritmo di convergenza del metodo attraverso l'introduzione di procedure di partizione (Alternative Sum of Volumes Partition, ASVP).

Fig. 1 - Circoscrizione della parte: a. pezzo da eseguire; b. pezzo circoscritto.

Inizialmente questo metodo è stato implementato esclusivamente su pezzi di tipo poliedrico, data la difficoltà di applicare la decomposizione volumetrica a pezzi che presentano superfici curve.

Ulteriori problemi emersi durante lo sviluppo del metodo hanno riguardato il modo di convertire un set di elementi volumetrici in *feature di forma* da utilizzare nelle fasi successive di pianificazione della lavorazione.

L'approccio introdotto da Kim è riassunto in [2] come un insieme di passi successivi di implementazione:

- Estrazione delle feature di lavorazione "foro cilindrico" presenti nel pezzo, come superfici cilindriche "chiuse" al massimo in una sola direzione lungo il proprio asse (fig. 2a);
- Astrazione poliedrica delle superfici cilindriche e curve (fig. 2b);

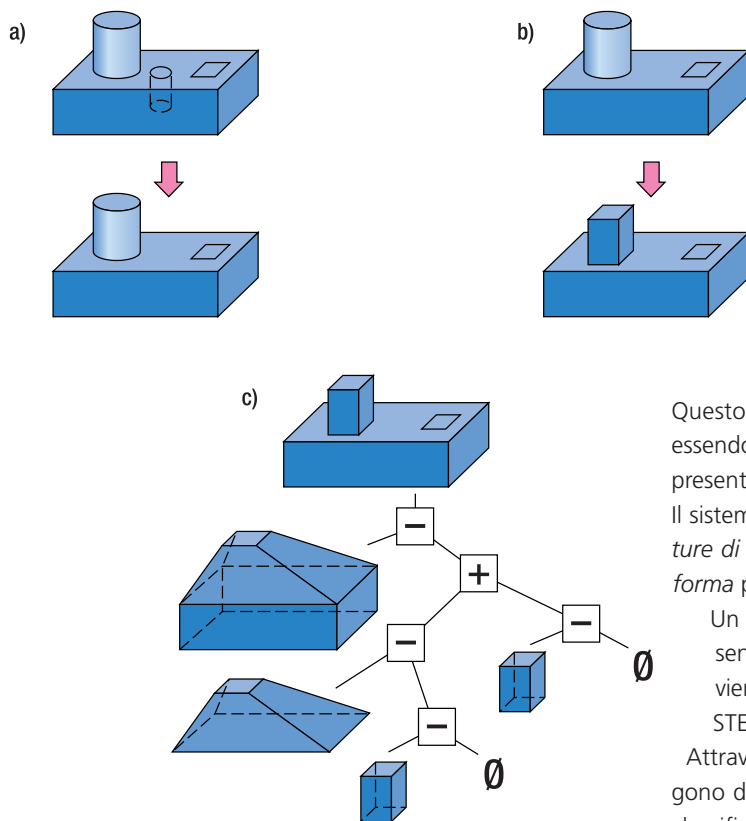


Fig. 2 - Schematizzazione dei passi di implementazione dell'approccio di Kim.

– Decomposizione ASVP del modello ottenuto (fig. 2c); il guscio convesso del modello poliedrico, è ottenuto come il più piccolo contenente quel poliedro. Successivamente viene valutata la differenza in volume tra il modello ed il guscio; al volume ottenuto come differenza viene applicato poi nuovamente in maniera ricorsiva il metodo di decomposizione, fino a che non si ottiene un volume convesso. Facendo riferimento alla figura 1c si può vedere come il pezzo venga inglobato in un solido poliedrico dal quale viene sottratto il pezzo di partenza. Si ottengono così dalla sottrazione due nuovi solidi su cui si esegue nuovamente questo processo di decomposizione. Nell'esempio in questione dalla prima sottrazione si ottiene un cubo e una piramide troncoconica cava (la cava è il cubo sporgente del pezzo iniziale); si creano a questo punto i solidi poliedrici attorno a questi due nuovi volumi. Per quanto riguarda il cubo, il solido poliedrico che lo racchiude è identico al cubo stesso, perciò la sottrazione di questi due solidi non dà nessun risultato e il processo si arresta. Il solido poliedrico che racchiude la

piramide troncoconica con la cava è di fatto una piramide troncoconica identica ma senza la cava, dunque la sottrazione dei due solidi dà come risultato la cava stessa (e cioè il cubo sporgente del solido finito), perciò il processo si arresta.

- Definizione delle feature di lavorazione come "negativo" dei volumi ottenuti dalla decomposizione (tali volumi vengono considerati come materiale da asportare durante la lavorazione).
- Reinserimento delle informazioni riguardanti superfici cilindriche e curve agli elementi poliedrici.

Questo tipo di approccio ha portato a risultati promettenti, essendo stato testato su gruppi di pezzi di varia natura, come presentato in [3].

Il sistema descritto è comunque in grado di trattare solo *feature di forma* cilindriche con curvatura costante e *feature di forma* poliedriche.

Un esempio di implementazione del metodo ASVP è presentato in [4]; l'estrazione delle informazioni geometriche viene qui ottenuta attraverso modello B-rep a partire da file STEP o IGES esportato dal modello CAD della parte.

Attraverso l'applicazione del metodo ASVP al modello, vengono determinati diversi tipi di superfici costituenti la parte, classificate a seconda che queste facciano parte del blocco grezzo di partenza, del pezzo finito, o che emergano da stati di lavorazione intermedia; ogni generica *feature di lavorazione*, viene quindi identificata ed eventualmente riconosciuta, come combinazione univoca di superfici di diverso tipo (fig. 3).

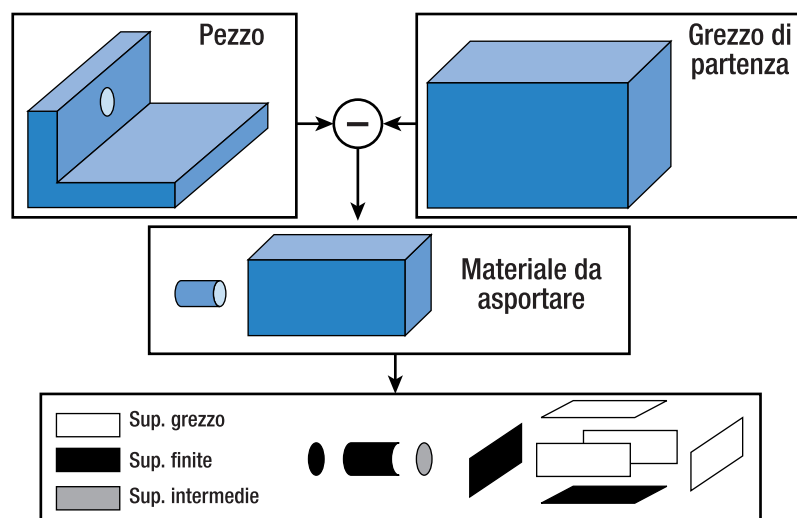


Fig. 3 - Metodo AFR di riconoscimento che sfrutta la tecnica ASVP.

Decomposizione volumetrica basata sulle celle

A differenza del metodo del guscio convesso, questa metodologia suddivide il materiale da asportare in piccole celle. Infatti in tutti gli esempi di applicazione del metodo della decomposizione volumetrica basata su celle elementari [2], la metodologia di base può essere divisa in tre parti: (i) il materiale da asportare viene individuato sottraendo il volume del pezzo finito da quello del grezzo; (ii) il volume così ottenuto viene suddiviso in celle elementari, utilizzando i piani di contorno del pezzo come piani di taglio; (iii) le celle elementari vengono unite in modo tale da formare volumi che possano essere asportati con i macchinari a disposizione.

Il difetto evidente di questo metodo è che anche per un pezzo molto semplice si devono creare moltissime celle elementari che poi danno luogo ad altrettante possibili interpretazioni delle *feature di lavorazione* quando si vanno a riformare i volumi da asportare. Questo problema è stato definito come "l'effetto globale della geometria locale" [5], perché la geometria di una piccola zona superficiale incide sulla lavorazione di tutto il modello. Il problema principale è dunque quello di creare delle regole con cui riformare in maniera corretta e rapida i volumi da asportare, che nascono da una serie molto

grande di possibili combinazioni (per "n" celle esistono circa "n!" possibili combinazioni) (fig.4).

Per ovviare a questo problema Sakurai e i suoi collaboratori hanno creato negli anni differenti algoritmi per riuscire ad ottimizzare questo compito, utilizzando anche varie regole euristiche, come "iniziare la lavorazione con geometrie semplici e utensili grandi" [6][7][8]. Questi metodi sono però applicabili solo a macchine a due assi. Woo [9] ha proposto un algoritmo che, usando una metodologia specifica per la scelta dei piani da utilizzare per decomporre il volume da asportare, ha permesso di diminuire di dieci volte il tempo necessario all'applicazione di questo metodo.

Approccio ibrido

L'approccio ibrido è un metodo che combina le caratteristiche di due o più metodi visti in precedenza; di seguito ne verranno illustrati alcuni esempi.

Gao e Shah [10], attraverso un'accurato studio dei differenti tipi di grafici sviluppati tramite il metodo AAG (approccio di tipo grafico), hanno proposto un approccio che combina il riconoscimento tramite metodo grafico e il metodo basato su indizi. Gli autori hanno ripreso il concetto elaborato da Marefat e Kashyap [11] sui link virtuali, cioè gli spigoli risultanti dall'interazione tra *feature di forma* che non sono contenuti nel modello B-rep della parte e lo hanno utilizzato per ampliare il metodo in una versione chiamata EAAG (Extended Attributed Adjacency Graph). Il loro algoritmo utilizza una libreria di *feature di lavorazione* predefinite e una libreria di *feature di lavorazione* composte. Ogni feature del modello è individuata dal relativo grafico EAAG; a partire da questi, vengono individuati i sub-grafici chiamati MCSG (Minimal Condition Sub-Graphs), i quali sono utilizzati nel sistema ibrido come indizi per la lavorazione della parte.

In [12] e [13] sono proposte le ultime versioni di un sistema conosciuto come "FeatureFinder" che utilizza un algoritmo basato sulla ricerca grafica, basato su quattro step di implementazione, attraverso i quali vengono individuate *feature di lavorazione* indicanti il materiale che deve essere rimosso per effettuare la lavorazione.

"FeatureFinder" è un sistema che combina ancora approccio grafico e approccio basato su indizi, in grado di identificare *feature di lavorazione* di diversi tipi di componenti; per l'identificazione il sistema richiede all'utente di indicare la direzione di lavorazione, ovvero l'asse lungo il quale l'utensile deve muoversi ad ogni passata per effettuare l'asportazione del materiale.

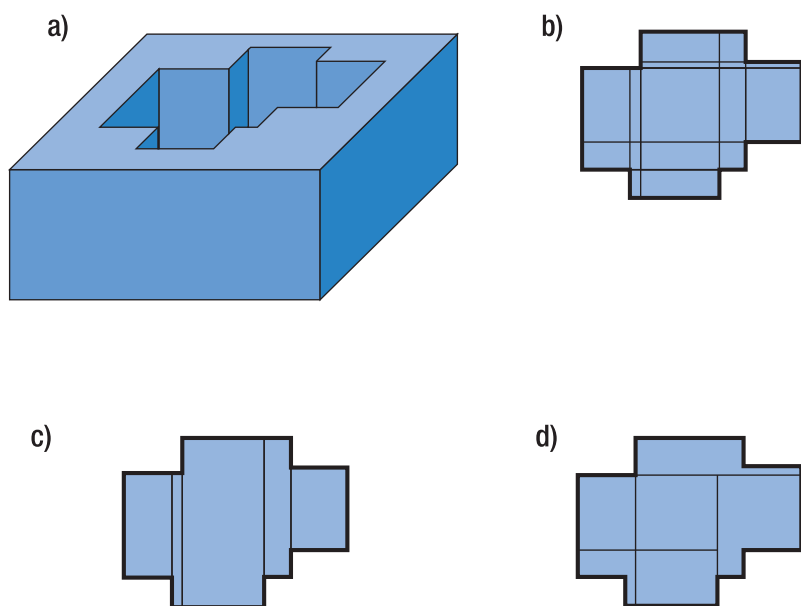


Fig. 4 - Diverse interpretazioni del processo di decomposizione in celle: a. parte; b. celle elementari; c. decomposizione possibile tramite unione di celle (si determinano così i volumi da asportare alle macchine utensili); d. decomposizione fuori luogo.

Un tentativo di sviluppo di un sistema più generale è stato presentato in [14]; questo utilizza il metodo AAG dal quale vengono estratti indizi in forma grafica (gli indizi per la asportazione di materiale sono rappresentati da parti di grafici AAG).

Ci sono alcuni esempi di sistemi ibridi AFR i quali combinano le caratteristiche degli approcci "grafico" e di "decomposizione volumetrica tramite guscio convesso"; uno di questi è descritto in [15], il quale utilizza l'approccio grafico AAG per il riconoscimento delle *feature di forma*. La modifica effettuata all'AAG è stata quella di aggiungere le "reference face" (superficie di riferimento della *feature*, determinata sulla base della decomposizione convex hull) fornendo così maggiori indizi (caratteristiche) riguardanti il riconoscimento delle *feature di lavorazione*; questo nuovo metodo è stato chiamato "reference attributed adjacency graph" (RAAG).

Un altro esempio di sistema ibrido tra l'approccio grafico e l'approccio convex hull è un sistema sviluppato da Sundararajan e Wright [16] che hanno introdotto il concetto di "open edge" che fornisce delle informazioni sulle *feature di lavorazione* adiacenti. Il sistema è capace di trattare parti prismatiche e una limitata classe di *feature a forma libera* (fig. 5). Sono presenti inoltre altre tipologie di sistemi ibridi di questo tipo, come quello elaborato da Ye [17], oppure quello elaborato da Subrahmanyam [18].

Conclusioni

L'AFR è il primo e più importante passo nel processo di trasformazione delle informazioni provenienti dal CAD in informazioni di lavorazione; la sua completa automazione è fondamentale per lo sviluppo di un sistema CAPP indipendente. I principali vantaggi di un sistema AFR, come si è visto sono:

- Riconoscimento automatico delle caratteristiche del pezzo grazie all'utilizzo delle *feature di lavorazione* presenti nella libreria del sistema.
- Immagazzinamento del know-how relativo alle caratteristiche delle *feature di lavorazione* che vengono usate nell'azienda in cui il sistema è implementato.

Ovviamente sono presenti anche degli svantaggi [19]:

- Grande complessità degli algoritmi di riconoscimento e di conseguenza tempi di analisi elevati.

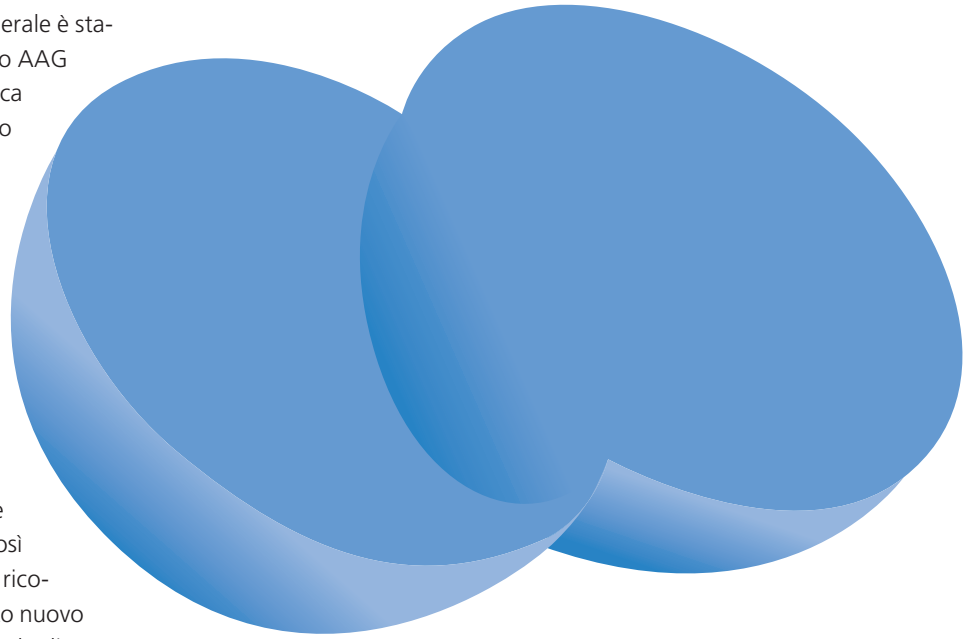


Fig. 5 - Esempio di *feature a forma libera*.

– Il campo d'applicazione delle *feature di lavorazione* riconosciute è spesso abbastanza limitato e dipende dalla capacità dell'azienda, che implementa il sistema, di sviluppare una libreria funzionale.

I fondamentali indirizzi della ricerca in corso si possono così riassumere:

- Come trattare i problemi d'interazione tra *feature di lavorazione* in maniera universale?
- Come determinare il numero sufficiente di modelli nella libreria delle *feature*?
- Come assicurare la validità della loro caratterizzazione?

Per le ragioni sopra menzionate, non esiste ancora un algoritmo che fornisca un riconoscimento di *feature* completamente automatico ed in grado di dar vita ad un CAPP completamente generativo.

Bibliografia

[0] A. Francesconi, G. Matteucci, M. Pagni, M. Lanzetta, Cicli di lavorazione automatizzati tramite sistemi AFR, *Macchine Utensili* n. 6 ottobre 2009.

- [1] Y.S. Kim, Recognition of form features using convex decomposition, *Computer-Aided Design* 24 (9) (1992) 461–476.
- [2] Bojan Babic, Nenad Nestic, Zoran Miljkovic, A review of automated feature recognition with rule-based pattern recognition, *Computers in Industry* n°59 (2008).
- [3] E. Wang, Y.S. Kim, Form feature recognition using convex decomposition: results presented at the 1997 ASME CIE Feature Panel Session, *Computer-Aided Design* 30 (13) (1998) 983–989.
- [4] H.K. Miao, N. Sridharan, J.J. Shah, CAD-CAM integration using machining features, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 15 (4) (2002) 296–318.

Glossario

Feature di forma: Entità volta ad identificare una particolare forma piana o tridimensionale dello spazio; "feature" significa infatti dall'inglese "caratteristica"; alcuni esempi di feature di forma possono essere rappresentati da elementi volumici (cubo, sfera, parallelepipedo etc...) o da elementi piani (superfici planare, cilindrica, sferica, etc, o linee rette o curve indicanti spigoli del pezzo). Una feature, sia di "forma" che di "lavorazione", può presentarsi in modi diversi a seconda del metodo AFR che si va ad utilizzare.

Feature di lavorazione: Entità volta a rappresentare una forma composta dello spazio, che identifica una lavorazione (o un insieme di lavorazioni) di asportazione di truciolo, necessaria all'ottenimento di quella particolare geometria; la forma di una feature di lavorazione viene sempre ottenuta come unione di due o più feature di forma (es. la feature di lavorazione "foro cieco" è ottenuta dall'unione di feature di forma come "superficie cilindrica di sezione circolare", "superficie conica", e "superficie piana di testa").

B-rep: Abbreviazione di "boundary representation", indica un metodo di rappresentazione di un modello tridimensionale attraverso entità geometriche "delimitate" (boundary = confine); i principali elementi che definiscono un modello in questo tipo di rappresentazione sono le facce, parti delimitate di superfici, gli spigoli, parti delimitate di curve, ed i vertici. Un solido viene quindi definito come un insieme di superfici connesse, che ne rappresentano il confine esterno.

STEP, IGES: Formati di scambio dati geometrici per il trasferimento di modelli tridimensionali tra software CAD.

Regole euristiche: sono regole che descrivono un metodo di approccio alla soluzione dei problemi che non segue un chiaro percorso, ma che si affida all'intuito e allo stato temporaneo delle circostanze, al fine di generare nuova conoscenza.

- [5] J.H. Han, M. Pratt, W.C. Regli, Manufacturing feature recognition from solid models: a status report, *IEEE Transactions on Robotics and Automation* 16 (6) (2000) 782–796.
- [6] H. Sakurai, Volume decomposition and feature recognition. Part 1. Polyhedral objects, *Computer-Aided Design* 27 (11) (1995) 833–843.
- [7] H. Sakurai, P. Dave, Volume decomposition and feature recognition. Part 2. Curved objects, *Computer-Aided Design* 28 (6/7) (1996) 519–537.
- [8] Y. Woo, H. Sakurai, Recognition of maximal features by volume decomposition, *Computer-Aided Design* 34 (2002) 195–207.
- [9] Y. Woo, Fast cell-based decomposition and applications to solid modeling, *Computer-Aided Design* 35 (2003) 969–977.
- [10] S. Gao, J.J. Shah, Automatic recognition of interacting machining features based on minimal condition subgraph, *Computer-Aided Design* 30 (9) (1998) 727–739.
- [11] M. Marefat, R.L. Kashyap, Geometric reasoning for recognition of threedimensional object features, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 12 (10) (1990) 949–965.
- [12] G. Little, D.E.R. Clark, J.R. Corney, R. Tuttle, Delta-volume decomposition for multi-sided components, *Computer-Aided Design* 30 (9) (1998) 695–705.
- [13] R. Tuttle, G. Little, D.E.R. Clark, J. Corney, Feature recognition for NC part programming, *Computers in Industry* 35 (1998) 275–289.
- [14] K. Rahmani, B. Arezoo, Boundary analysis and geometric completion for recognition of interacting machining features, *Computer-Aided Design* 38 (2006) 845–856.
- [15] C. Zhang, K.W. Chan, Y.H. Chen, A hybrid method for recognizing feature interactions, *Integrated Manufacturing Systems* 9 (2) (1998) 120–128.
- [16] V. Sundararajan, P.K. Wright, Volumetric feature recognition for machining components with freeform surfaces, *Computer-Aided Design* 36 (2004) 11–25.
- [17] F. Pariente, Y.S. Kim, Incremental and localized update of convex decomposition used for form feature recognition, *Computer-Aided Design* 28 (8) (1996) 589–602.
- [18] Y.S. Kim, Y. Kim, F. Pariente, E. Wang, Geometric reasoning for mill-turn machining process planning, *Computers and Industrial Engineering* 33 (3–4) (1997) 501–504.
- [19] Y.S. Kim, E. Wang, Recognition of machining features for cast then machined parts, *Computer-Aided Design* 34 (2002) 71–87.
- [20] W. Y. Zhang, S. B. Tor, G. A. Britton, A Hybrid Intelligent System for Stamping Process Planning in Progressive Die Design, *Innovation in Manufacturing Systems and Technology (IMST)* (2004).